

Die Auswirkungen des Klimawandels auf Pflanzen in unterschiedlichen Lebensräumen

Berger, Silje

Veröffentlicht in:
Abhandlungen der Braunschweigischen
Wissenschaftlichen Gesellschaft Band 59, 2007,
S.37-52



J. Cramer Verlag, Braunschweig

Die Auswirkungen des Klimawandels auf Pflanzen in unterschiedlichen Lebensräumen*

SILJE BERGER

Institut für Geobotanik der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover,
Nienburger Str. 17, D-30167 Hannover
Email: berger@geobotanik.uni-hannover.de

Zusammenfassung

Das Großklima ist ein wichtiger Faktor, der die geographischen Verbreitungsmuster der Pflanzen bestimmt. In den letzten Jahrzehnten wurde eine Erwärmung der Erde festgestellt, was folglich Konsequenzen für die Vegetation hat. Anhand von Beispielen wird erläutert, wie der bereits ablaufende Klimawandel deutliche Auswirkungen auf die Verbreitungsmuster von Pflanzen hat. Kälteempfindliche Arten können ihr Areal an der Nordgrenze erweitern, auch in den altitudinalen Verbreitungsmustern im Gebirge sind Veränderungen nachweisbar, es findet eine Aufwärtsschiebung der alpin-nivalen Flora statt. Nicht nur einheimische Arten, sondern auch kälteempfindliche Exoten, die außerhalb ihres ursprünglichen Verbreitungsgebiets angesiedelt wurden, können von der Erwärmung profitieren.

Einleitung

Das Großklima ist einer der Faktoren, die die geographischen Verbreitungsmuster der Pflanzen und Tiere bestimmen. Im Verlaufe des letzten Jahrhunderts wurde ein Anstieg der globalen Mitteltemperaturen festgestellt (IPCC 2007), die Temperaturentwicklung ist jedoch regional unterschiedlich verlaufen. Die mittlere Jahrestemperatur in Europa ist über das letzte Jahrhundert um 0,95 °C angestiegen (EEA 2004), was überwiegend auf mildere Winter zurückzuführen ist. Die Rate der Erwärmung hat gegen Ende des Jahrhunderts zugenommen,

* (Eingegangen 16.03.2008) Der Vortrag wurde am 20.11.2006 anlässlich des Symposiums „Global change und biologische Invasionen“ der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft und des Instituts für Geobotanik der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover gehalten.

und die 1990er Jahre waren das wärmste Jahrzehnt in diesem Zeitraum (IPCC 2007).

Über den ganzen Globus verteilt reagieren bereits zahlreiche Arten und Ökosysteme auf die derzeitige Klimaänderung (WALTHER et al. 2002). In den letzten Jahren wurden zahlreiche „Fingerabdrücke“ des Klimawandels in verschiedenen Ökosystemen dokumentiert (WALTHER et al. 2001, PARMESAN & YOHE 2003, ROOT et al. 2003), bei Pflanzen wurden z.B. phänologische Reaktionen und Arealverschiebungen als Folge des Temperaturanstieges festgestellt (WALTHER 2004, MENZEL et al. 2006). Eine sich fortsetzende Erwärmung (IPCC 2007), mit weitreichenden Vegetationsveränderungen als mögliche Folge (z.B. BAKKENES et al. 2002, THOMAS et al. 2004, THUILLER et al. 2005), wird erwartet.

Verschiebung der nördlichen Verbreitungsgrenze der Stechpalme (*Ilex aquifolium* L.)

Die Verbreitungsgrenze der Stechpalme (*Ilex aquifolium*) nach Norden und Osten hin ist durch kalte Winter bedingt, und das Areal der Stechpalme wird in der Literatur häufig als Beispiel eines nach Norden hin klimatisch limitierten Verbreitungsgebietes angeführt (siehe z.B. BEGON et al. 1996, SITTE et al. 2002 und LARCHER 2003). Dies ist zum großen Teil auf die Arbeit von IVERSEN (1944) zurückzuführen, der die klimatischen Ansprüche der Stechpalme detailliert dokumentierte. Beobachtungen, dass die Stechpalme durch die Winterkälte limitiert wird und dass die nördliche Verbreitungsgrenze ähnlich der 0 °C-Januarisotherme verläuft, finden sich aber auch schon in älteren Literaturquellen (HOLMBOE 1913, ENQUIST 1924, LÖSENER 1919).

IVERSEN (1944) zeigte einen engen Zusammenhang zwischen dem Vorkommen von *Ilex aquifolium* und der mittleren Temperatur des kältesten Monats auf und leitete die limitierende Durchschnittstemperatur des kältesten Monats für *Ilex aquifolium* von zahlreichen Klimastationen und dem Vorkommen der Art in deren unmittelbaren Umgebung ab. Eine 2003 wiederholte Untersuchung der *Ilex aquifolium*-Vorkommen in der Umgebung dieser Klimastationen zeigte, dass bei einigen Stationen, die 1944 sowohl geographisch außerhalb des Verbreitungsgebietes als auch klimatisch unterhalb der Temperaturgrenze lagen, mittlerweile Vorkommen von *Ilex aquifolium* auftreten. Die Temperatur des kältesten Monats an diesen Stationen waren seitdem über den nach IVERSEN (1944) für *Ilex aquifolium* limitierenden Wert gestiegen (WALTHER et al. 2005).

Ihre nördlichste Verbreitung erreicht *Ilex aquifolium* an der norwegischen Westküste. In den letzten Jahren hat sich das Verbreitungsareal der Stechpalme über die historischen Verbreitungsgrenzen hinaus ausgedehnt (Abb. 1), und neue nördlichste Vorkommen an der norwegischen Westküste wurden dokumentiert

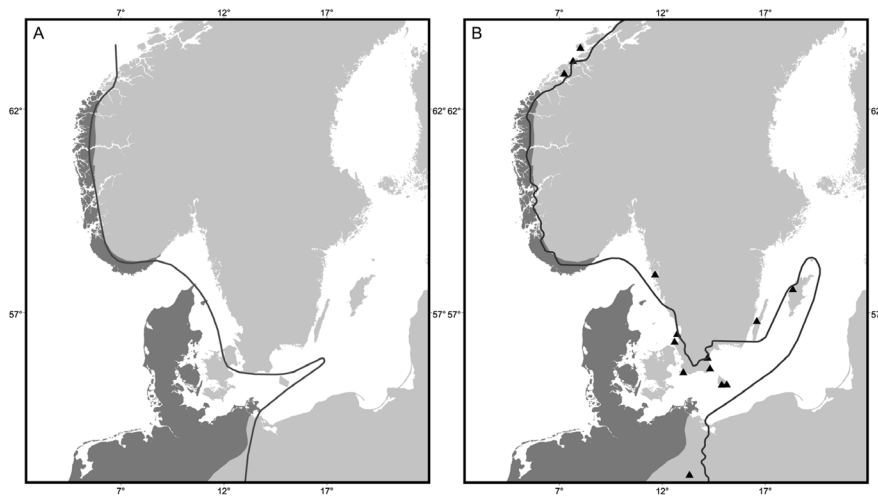


Abb. 1: a) Historisches Verbreitungsareal von *Ilex aquifolium* und die Januar 0 °C Isotherme, verändert nach WALTER & STRAKA (1970). b) Neue Vorkommen von *Ilex aquifolium* und aktualisierte Januar 0 °C Isotherme (1981-2000). Aus WALTHER et al. (2005), verändert.

(WALTHER et al. 2005). Auch Vorkommen weiter im Landesinneren sind hinzugekommen (SALVESEN 1996). Die historische Verbreitungsgrenze verlief von Südwest-Norwegen weiter nach Osten hin durch Dänemark. Aktuell erstreckt sich das Verbreitungsgebiet über Dänemark, einschließlich der Insel Bornholm, hinaus. Die neue äußerste Verbreitungsgrenze verläuft entlang der schwedischen Südküste, wo zahlreiche Neufunde von *Ilex aquifolium* gemeldet wurden. Der äußerste nordöstliche Vorposten ist auf der klimatisch begünstigten Insel Gotland. Die ältesten Exemplare in Südschweden sind ca. 20 Jahre alt. Auch an der östlichen Verbreitungsgrenze in Deutschland werden derzeit Vorkommen außerhalb des historischen Verbreitungsgebietes verzeichnet (REHSE 2007).

Die zahlreichen Neufunde jenseits der historischen Verbreitungsgrenze gehen mit einer Verschiebung der 0 °C-Januarisotherme einher. Die Lokalitäten der zahlreichen Neufunde liegen auch innerhalb des mit dem bioklimatischen Modell STASH (SYKES et al. 1996) simulierten Arealen, wenn die Klimadaten der Periode 1981-2000 zugrunde gelegt werden (WALTHER et al. 2005).

Experimentelle Untersuchungen zur Frostempfindlichkeit von *Ilex aquifolium* haben gezeigt, dass die Blätter Extremwerte bis -15 °C ertragen können, während bei -18 – -23 °C auch Knospen und Zweige beschädigt werden (SAKAI 1982). Nach einem durch Kälte verursachten vollständigen oberirdischen Absterben kann *Ilex aquifolium* wieder von der Sprossbasis austreiben (IVERSEN 1944, CALLAUCH 1983).

Auch wenn die Januarmitteltemperatur nicht an sich physiologisch wirksam ist, korreliert diese mit den absoluten Minima (PRENTICE et al. 1992). Die Januarmitteltemperatur steht daher auch mit der Häufigkeit der letalen Temperaturvorkommnisse in enger Beziehung und ist somit als ein Maß der Winterhärte geeignet (WOODWARD et al. 2004; siehe auch PETERKEN & LLOYD 1967, SYKES et al. 1996).

Aufwärtswanderung von Alpenpflanzen

Die europäischen Alpen haben einen Temperaturanstieg über dem Durchschnitt der Nordhemisphäre erfahren. Vor allem in den letzten 30 Jahren ist ein verstärkter Erwärmungstrend zu verzeichnen (REBETZ & REINHARD 2008). Die verschiedenen abiotischen Umweltparameter (z.B. Meereshöhe, Klima, Morphodynamik) weisen in Gebirgsregionen steile Gradienten auf relativ engem Raum auf. Aufgrund dieser steilen Gradienten und dementsprechend eng aufeinanderfolgenden zonalen Vegetationsgürtel sind bei sich ändernden Umweltparametern empfindliche Reaktionen im Artengefüge zu erwarten (BURGA et al. 2003). Eine Studie zur Höhenverschiebung von Vegetationsgrenzen wurde auf mehreren Gipfeln im Berninagebiet (Engadin, Schweizer Alpen) durchgeführt. Auch hier bildeten historische Daten (RÜBEL 1912) die unerlässliche Grundlage zur Detektion der eingetretenen Veränderungen. In den 1980er Jahren waren die Gipfel wieder auf ihr Arteninventar hin untersucht worden (HOFER 1992), und auch 2003 wurde die Untersuchung mit dem gleichen methodischen Ansatz wiederholt. Von 1912 zu 1985 hatte auf den meisten Gipfeln eine Artenzunahme stattgefunden. Wie die wiederholte Aufnahme der Gipfel 2003 zeigte, hatte sich dieser Trend in den letzten 20 Jahren weiter deutlich intensiviert (Abb. 2, WALTHER et al. 2005b), in Übereinstimmung mit der stärkeren Erwärmung. Insgesamt nahm die Anzahl der Gefäßpflanzen im Gipfelbereich von 57 (RÜBEL 1912) auf 87 (HOFER 1992) und schließlich auf 102 (WALTHER et al. 2005b) zu.

GRABHERR et al. (1994, 2001) stellte anhand von weiteren untersuchten Gipfel der Zentralalpen ebenfalls eine Zunahme der Artenzahl gegenüber den historischen Aufzeichnungen fest und schloss daraus, dass es sich um einen generellen Trend der Aufwärtsverschiebung der alpin-nivalen flora handelt. Auch in skandinavischen Gebirgen wurde ein analoger Trend festgestellt (KLANDERUD & BIRKS 2003). PAULI et al. (2006) lieferten erste Hinweise, dass auch die Untergrenze der nivalen Arten in einer Aufwärtsverschiebung begriffen ist.

Aus allen diesen beobachteten Veränderungen lässt sich ableiten, dass nicht mit einer geschlossenen Wanderbewegung der Vegetationsgürtel zu rechnen ist, sondern dass die einzelnen beteiligten Arten individuell und unterschiedlich rasch auf Klimaänderungen reagieren können. In diesem Zusammenhang spielen also auch Eigenschaften der Pflanzen wie z.B. Reproduktionsrate, Wachstumsstrategien, genetische Variabilität, physiologische Plastizität sowie

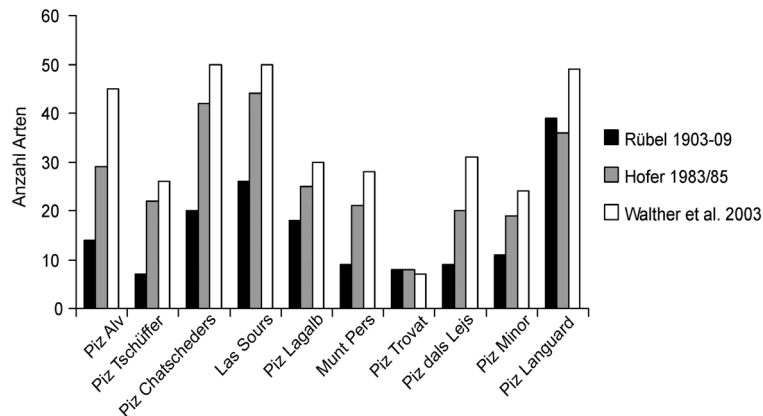


Abb. 2: Anzahl Arten im Gipfelbereich mehrerer Gipfel im Berninagebiet, Schweiz. Aus WALTHER et al. (2005b), verändert.

inter- oder intraspezifische Konkurrenz eine wichtige Rolle (vgl. KÖRNER 1999, BURGA et al. 2003).

Exotische Arten profitieren vom Klimawandel

Nicht nur an den Grenzen der natürlichen Verbreitungsareale der Pflanzen sind Veränderungen nachweisbar. In sommergrünen Laubwäldern der Tieflagen der Südschweiz, im Insubrischen Seengebiet, hat in den letzten 30 Jahren sowohl der Anteil an einheimischen als auch an verwilderten exotischen immergrünen Laubholzarten zugenommen (siehe Abb. 3), wie aus einem Vergleich von Vegetationsaufnahmen aus den 1970er und den 1990er Jahren hervorgeht (WALTHER 2000, CARRARO et al. 2001, WALTHER 2002). Die exotischen Gehölze verwilderten aus Gärten und Parks, in denen sie seit geraumer Zeit in großer Anzahl und Vielfalt kultiviert werden (SCHRÖTER 1936, SCHMID 1956). Eine deutliche Abnahme der Frosttage erwies sich als besonders vorteilhaft für die Immergrünen, die bei Temperaturen über 0 °C auch im Winter Photosynthese betreiben können. Ebenfalls positiv wirken sich höhere Minimumtemperaturen für diese kälteempfindlichen Arten aus, da letale Kälteereignisse, die in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts regelmäßig auftraten, kaum noch vorkommen (WALTHER et al. 2001, WALTHER 2002).

Es gibt in Mitteleuropa nur wenige einheimische immergrüne Laubgehölzarten, die vormalig reiche Tertiärflora wurde durch die Eiszeiten auf wenige Arten reduziert (HÜBL 1988, MAI 1995). Hingegen werden zahlreiche eingeführte Arten aus aller Welt kultiviert, und viele der Arten, die als Artenpool für die



Abb. 3: Sommergrüner Wald bei Locarno, Schweiz, mit immergrünem Unterwuchs (Winteraspekt).

Laurophyllierung in der Südschweiz zur Verfügung standen, werden auch in anderen Regionen Mitteleuropas gepflanzt. Vor allem die frostresistentesten Immergrünen genießen große Beliebtheit als Gartenpflanzen, wie zum Beispiel der Kirschlorbeer (*Prunus laurocerasus*). Auch die Hanfpalme (*Trachycarpus fortunei*) ist, trotz ihrer etwas höheren Ansprüche an die Temperatur, eine häufig gepflanzte Art in vielen Gebieten Europas.

Kirschlorbeer (*Prunus laurocerasus* L.)

Das Heimatgebiet von *Prunus laurocerasus* erstreckt sich entlang der südlichen und östlichen Schwarzmeerküste und der Südküste des Kaspischen Meeres (Abb. 4, kleines Bild). Auch auf dem Balkan und in Bulgarien gibt es Vorkommen von *Prunus laurocerasus*. In Mitteleuropa, auf den Britischen Inseln und im südlichen Skandinavien wird die Art häufig als Gartenpflanze kultiviert. Der Strauch wurde bereits Ende des 16. Jahrhunderts nach Mitteleuropa eingeführt.

Im Insubrischen Seengebiet und in Großbritannien ist *Prunus laurocerasus* auch außerhalb der Gärten weit verbreitet und gedeiht u. a. im Unterwuchs sommergrüner Laubwälder. In den letzten Jahrzehnten hat die Anzahl der Fundangaben aus Großbritannien stark zugenommen (PERRING & WALTERS 1962 und neuere

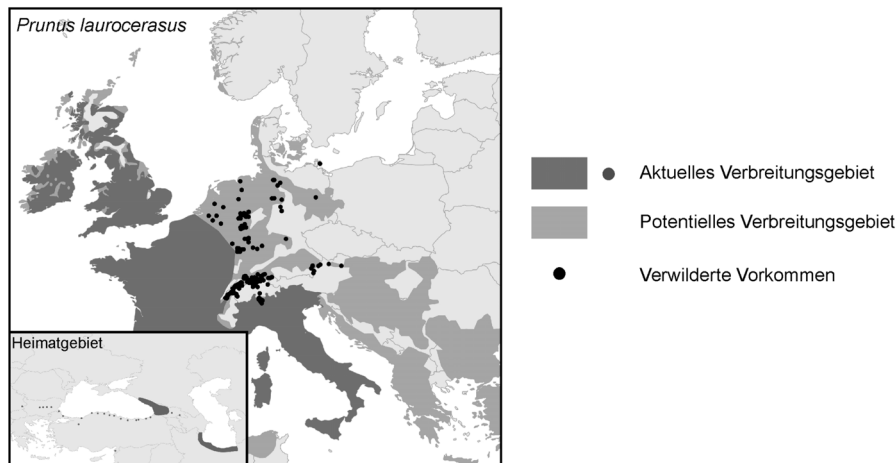


Abb. 4: Potentielle und realisierte Verbreitung von *Prunus laurocerasus* (Aus BERGER et al. 2007, verändert).

Ausgaben, BSBI 2007). In dieser Zeit hat *Prunus laurocerasus* in der Schweiz auch Gebiete auf der Alpennordseite besiedeln können (MEDUNA et al. 1999, WOHLGEMUTH et al. 2007). Weitere Funde wurden in Frankreich, Belgien, den Niederlanden und Österreich dokumentiert (MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE 2003-2006, SÖHLKE 2006). In Deutschland schreitet die Verwildерung ebenfalls voran und findet hier aktuell ihre nördliche Grenze. Die ältesten Exemplare in Deutschland sind ca. 25 Jahre alt, der überwiegende Anteil stammt aus den 1990er Jahren. Bei den verwilderten Exemplaren in Deutschland handelt es sich (noch) um sterile Pflanzen.

Die wichtigsten klimatischen Parameter, die die Verbreitung von *Prunus laurocerasus* begrenzen, sind Wintertemperaturen und Länge der Vegetationsperiode. *Prunus laurocerasus* kann kurzfristig sehr tiefe Temperaturen ertragen, in der Literatur werden Grenzwerte in der Größenordnung von -20°C (BÄRTELS 1991) und -24°C (DIRR & LINDSTROM 1990) angegeben. ADAMOVIĆ (1909) beschreibt eine zu kurze Vegetationsperiode als ein Haupthindernis der Blüten- und Fruchtbildung bei *Prunus laurocerasus*; eine Mindestlänge der Vegetationsperiode ist also auch eine ökologisch wichtige Voraussetzung für das Verwildern. Sind reife Früchte vorhanden, werden diese von Vögeln und Kleinsäugetern verbreitet (MEDUNA et al. 1999). Das vegetative Wachstum und Überleben in Kultur von *Prunus laurocerasus* ist noch bis in recht kühle Gebiete möglich. Der Verwildерung werden aber durch die Länge der Vegetationsperiode engere Grenzen gesetzt, und die subspontane Verbreitung erstreckt sich nicht gleich weit nach Norden wie die Verbreitung von *Ilex aquifolium*, obwohl

Prunus laurocerasus ähnlich tiefe Extremtemperaturen ertragen kann. *Prunus laurocerasus* gedeiht in Gebieten mit relativ hohen Niederschlägen gut, wie beispielsweise im westlichen Insubrien und in Großbritannien. Die Art ist jedoch auch weniger trockenheitsempfindlich als beispielsweise *Trachycarpus fortunei* (BERGER & WALTHER 2006).

Anhand von Klimadaten aus dem Heimatgebiet wurde basierend auf diesen klimatischen Grenzen ein potentiell Verbreitungsgebiet für *Prunus laurocerasus* abgeleitet (SÖHLKE 2006). Die Überlappung des potentiellen Verbreitungsgebiets mit den beobachteten verwilderten Vorkommen in Mitteleuropa deutet daraufhin, dass die Verwildерung ein Resultat der wärmeren Klimabedingungen v. a. in den 1990er Jahren ist (Abb. 4).

Bei *Prunus laurocerasus* werden zahlreiche unterschiedliche Sorten kultiviert, die sich auch in ihrer Frosthärte unterscheiden. Allgemein gelten die schmalblättrigen Sorten als frostresistenter als Sorten mit breiter Blattspreite. Unter den verwilderten Exemplaren in Deutschland überwiegen schmalblättrige Formen. Die Unterschiede zwischen den Sorten werden auch bei dem Blüh- und Fruchtverhalten deutlich. So gibt es von Sorten, die reichlich blühen und fruchten, bis hin zu nicht blühenden Zuchtformen alle Übergänge (BUNDESGEHÖLZSICHTUNG 2001).

Hanfpalme (*Trachycarpus fortunei* (HOOK.) WENDL.)

Die Hanfpalme, *Trachycarpus fortunei*, ist in Südostasien beheimatet, dort kommt sie vom nördlichen Burma und dem westlichen Himalaja-Gebiet über die Bergregionen von Mittel-, Ost- und Südchina bis nach SüdJapan vor (DELECTIS FLORAE REIPUBLICAE POPULARIS SINICAE 1991, LÖTSCHERT 1995, WU & DING 1999). *Trachycarpus fortunei* ist eine der kälteresistentesten Palmen überhaupt. Dies hat der Palme zu großer Beliebtheit verholfen; sie wird auf Grund ihrer Winterhärte weltweit in den gemäßigten Breiten gepflanzt (WALTHER et al. 2007).

Für Europa wird *Trachycarpus fortunei* das erste Mal 1795 in der Literatur erwähnt (JACOBI 1998). Aus dem Tessin wurden schon Ende des 19. Jahrhunderts fruchtende Palmen in Gärten beschrieben (KNY 1882). Subspontane Verjüngung von *Trachycarpus fortunei* wurde zunächst bei Gandria, nahe Lugano, beobachtet (VOIGT 1920). Auch SCHRÖTER (1936) beschrieb, dass Palmensamen von Amseln (*Turdus merula*) verbreitet wurden, und dass daraus Keimlinge wuchsen. Aus der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts ist ausschließlich das Aufkommen von Keimlingen bekannt, die jedoch kaum längere Zeit überdauert haben dürften (HEGI 1932 zit. in BODMER et al. 1999). Erst in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts gelang es ihnen aufzuwachsen, und größere Exemplare konnten auf Waldstandorten verzeichnet werden (GIANONI et al. 1988, CARRARO et al. 1999). Heute sind Hanfpalmen in der Strauchschicht an südexponierten Standorten entlang der süd-

schweizerischen / norditalienischen Seen häufig, auch erste fruchtende Exemplare kommen mittlerweile auf Waldstandorten vor (WALTHER et al. 2007).

Inzwischen wurde Verjüngung von *Trachycarpus fortunei* auch in anderen wintermilden Gebieten Europas beobachtet, wie z.B. in der Bretagne und auf den Kanalinseln. Spontane Verjüngung innerhalb von Gärten ist in Südengland und jüngst auch in Deutschland beobachtet worden. Aus den USA, Australien und Neuseeland ist Verwilderung von *Trachycarpus fortunei* ebenfalls bekannt (WALTHER et al. 2007).

Die weiblichen Exemplare der diözischen Hanfpalme können erhebliche Mengen Früchte produzieren. Sie bleiben bis im späten Winter am Fruchtstand erhalten und werden von Vögeln verbreitet. In Keimungsversuchen hat sich gezeigt, dass eine sehr hohe Keimungsrate erzielt werden kann (BERGER, unpubl. Daten). Die Dauer bis zur Keimung beträgt bei guten Bedingungen 45 Tage bis 3 Monate, unter Mitteleuropäischen Klimabedingungen vergehen über 5 Monate bis zur Keimung (JACOBI 1998, BERGER, unpubl. Daten). Nicht gekeimte Samen können Monate im Boden überdauern, um später bei günstigen Bedingungen zu keimen.

Die Palme kann in Kultur für kurze Zeit Extremwerte von $-15 - -17\text{ °C}$ ertragen (WALTHER 2001). In China gedeiht die Hanfpalme in Gebieten, in denen die mittlere Januartemperatur $+2.2\text{ °C}$ Grad und die Summe der kumulierten Tagesgrade über 5 °C (GDD_5) Werte von 2300 übersteigt. In Gebieten mit $\text{GDD}_5 > 3000$ kommt die Hanfpalme auch bei etwas tieferen Wintertemperaturen (Januarmitteltemperatur über $+1,4\text{ °C}$) vor. Die Palme kann hier bis zu einem gewissen Grad durch bessere Wachstumsbedingungen im Sommer Biomassenverlust durch Winterfrost kompensieren (WALTHER et al. 2007). Auch für die Hanfpalme wurde ein potentiell Areal aus den Bedingungen des Heimatgebietes abgeleitet. Die nördlichsten subspontanen Vorkommen der Hanfpalme korrelieren mit der Verbreitungsgrenze des potentiellen Areals basierend auf Klimadaten aus der Periode 1990 bis 2000 (Abb. 5, BERGER et al. 2007).

Das Heimatgebiet von *Trachycarpus fortunei* weist keine ausgeprägten Trockenperioden auf. Ausgeprägte Trockenphasen wirken sich unvorteilhaft auf das Wachstum aus, wie entlang eines Transekts vom Lago Maggiore bis zum Gardasee gezeigt wurde (BERGER & WALTHER 2006). Im östlichen Teil des Gebietes ist der Jahresniederschlag erheblich geringer als im westlichen Teil. Am Gardasee im Osten fällt durchschnittlich weniger als 1000 mm Niederschlag pro Jahr, mit einer ausgeprägteren Trockenphase im Sommer, als am Lago Maggiore im Westen, wo der jährliche Niederschlag ca. 2000 mm beträgt (REISIGL 1996, SCHWARB et al. 2000). Unter vergleichbaren Temperaturbedingungen wird *Trachycarpus fortunei* im gesamten Gebiet häufig angepflanzt. Im östlichen Teil des Gebietes gibt es nur vereinzelt kümmerliche Exemplare von verwilderten *Trachycarpus fortunei*, während sie im Lago Maggiore Gebiet, bei ausreichendem Niederschlag, sehr häufig und vital sind (BERGER & WALTHER 2006).

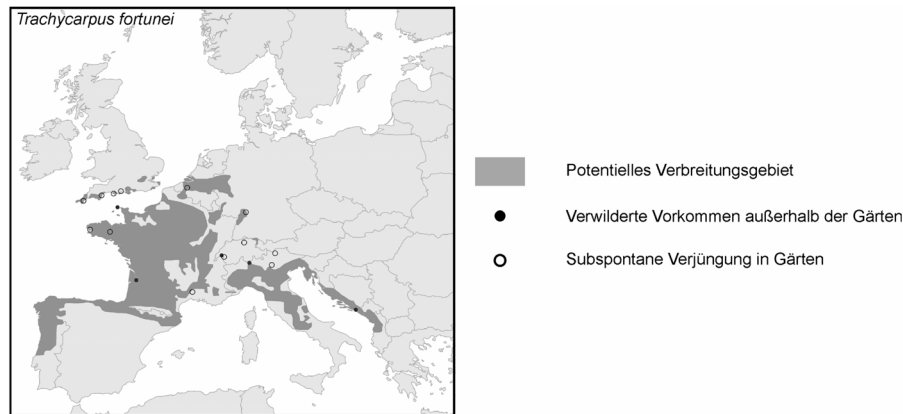


Abb. 5: Potentielles Verbreitungsgebiet und dokumentierte subspontane Vorkommen von *Trachycarpus fortunei*. Aus BERGER et al. (2007), verändert.

Trockenstress bei Keimlingen von *Trachycarpus fortunei* macht sich durch zusammenfallen des Blattes bemerkbar, was bei anhaltender Trockenheit letztendlich zum Absterben führen kann (pers. Beob. der Autorin). Die Keimlinge von *Trachycarpus fortunei* reagieren besonders bei hohen Temperaturen empfindlich auf Trockenheit. Dies lässt erwarten, dass die atlantischen Regionen Europas für die Verwildering von *Trachycarpus fortunei* eher in Frage kommen als die stärker mediterran geprägten Gebiete.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Die vorgestellten Beispiele zeigen, dass der ablaufende Klimawandel schon deutliche Auswirkungen auf die Verbreitungsmuster einiger Pflanzen hat. Kälteempfindliche Arten können ihr Areal an der Nordgrenze erweitern, wie am Beispiel von *Ilex aquifolium* gezeigt wurde. Auch in den altitudinalen Verbreitungsmustern im Gebirge sind Veränderungen zu verzeichnen. Nicht nur einheimische Arten, sondern auch kälteempfindliche Exoten, die außerhalb ihres ursprünglichen Verbreitungsgebiets angesiedelt wurden, können von der Erwärmung profitieren.

Im Falle der Exoten beruht der Ausbreitungsprozess nicht nur auf dem Klimawandel, er wird zusätzlich durch die Globalisierung und dem dadurch bedingten verstärkten Transfer zwischen den Kontinenten sowie dem Handel mit exotischen Zierpflanzen begünstigt. Organismen gelangen in erhöhtem Maße in Gebiete, die sie zuvor nicht auf natürlichen Weg erreichen konnten, indem, beabsichtigt oder unbeabsichtigt, räumliche Ausbreitungsbarrieren überwunden oder beseitigt wurden (DUKES & MOONEY 1999, KOWARIK 2003). Das Spek-

trum der Bewertung, und die sich daraus ggf. ergebenden zu ergreifenden Maßnahmen, kann von deutlicher Ablehnung und rigorosen Bekämpfungsmaßnahmen bis hin zur weitgehenden Akzeptanz im Sinne einer Bereicherung der einheimischen Flora reichen. Das gemäßigte Klima Mitteleuropas schloss bislang viele subtropische und tropische Arten aus, die zwar nach Mitteleuropa gelangen, hier aber nicht Fuß fassen konnten (KOWARIK 2003). Dies könnte sich jedoch mit der prognostizierten Klimaerwärmung ändern.

Des Weiteren muss festgehalten werden, dass die Arten spezifisch unterschiedlich auf veränderte Umweltbedingungen reagieren, was bei der Interpretation der Vegetationsveränderungen berücksichtigt werden muss. Die Lebensgemeinschaften, wie wir sie heute vorfinden, zeigen ihre charakteristische Zusammensetzung teils auf Grund der derzeit einwirkenden ökologischen Parameter, u. a. des Klimas, sind aber auch ein Produkt weiterer erdgeschichtlicher Ereignisse. In gleichem Maße ist auch ein potentieller „Endzustand“ der zu erwartenden Vegetationsveränderungen als Folge des anhaltenden Klimawandels abhängig von der Variabilität artspezifischer Reaktionen, sowie deren gegenseitiger Überlagerungen und Wechselwirkungen innerhalb der Ökosysteme. Die zu erwartenden Veränderungen sind dementsprechend viel komplexer als die Summe der Reaktionen der einzelnen Arten.

Literatur

- ADAMOVIĆ, L. (1909): Die Vegetationsverhältnisse der Balkanländer. Engelmann, Leipzig.
- BAKKENES, M., ALKEMADE, J.R.M., IHLE, F., LEEMANS, R. & J.B. LATOUR (2002): Assessing effects of forecasted climate change on the diversity and distribution of European higher plants for 2050. *Glob. Chang. Biol.* 8: 390-407.
- BÄRTELS, A. (1991): *Prunus laurocerasus*, die Lorbeerkirsche. *Baumschulpraxis* 8: 324-327.
- BEGON, M., HARPER, J. L. & C. R. TOWNSEND (1996): *Ecology – individuals, populations and communities*. 3. Aufl. Blackwell, Oxford.
- BERGER, S. & G.-R. WALTHER (2006): Distribution of evergreen broad-leaved woody species in Insubria in relation to bedrock and precipitation. *Botanica Helvetica* 116: 65-77.
- BERGER, S., SÖHLKE, G., WALTHER, G.-R. & R. POTT (2007): Bioclimatic limits and range shifts of cold-hardy evergreen broad-leaved species at their northern distributional limit in Europe. *Phytocoenologia* 37: 523-539.
- BSBI (2007): BSBI Atlas Update Project. – Botanical Society of the British Isles, URL: <http://www.bsbiatlas.org.uk/main.php>, gelesen am 30.04.07.
- BUNDESGEHÖLZSICHTUNG (2001): *Prunus laurocerasus*. Bund Deutscher Baumschulen, Pinneberg & Bundessortenamt, Hannover. URL: http://www.gehoelzsichtung.de/index_prunus.htm, gelesen am 30.04.07.

- BURGA, C.A., HAEBERLI, W., KRUMMENACHER, B. & G.-R. WALTHER (2003): Abiotische und biotische Dynamik in Gebirgräumen – Status quo und Zukunftsperspektiven. In: JEANNERET, F., WASTL-WALTER, D., WIESMANN, U. & M. SCHWYN (eds.) Welt der Alpen – Gebirge der Welt. Ressourcen, Akteure, Perspektiven, pp. 25-37. Haupt, Bern.
- CALLAUCH, R. (1983): Untersuchungen zur Biologie und Vergesellschaftung der Stechpalme (*Ilex aquifolium*). Dissertation, Universität des Landes Hessen, Kassel.
- CARRARO, G., GIANONI, G., MOSSI, R., KLÖTZLI, F. & G.-R. WALTHER (2001): Observed changes in vegetation in relation to climate warming. In: BURGA, C.A. & A. KRATOCHWIL (eds.): Biomonitoring: General and applied aspects on regional and global scales. Tasks for vegetation science 35. pp. 195-205. Kluwer academic publishers, Dordrecht.
- CARRARO, G., KLÖTZLI, F., WALTHER, G.-R., GIANONI, P. & R. MOSSI (1999): Observed changes in vegetation in relation to climate warming. Final Report NRP 31. vdf Hochschulverlag, Zürich.
- DELECTIS FLORAE REIPUBLICAE POPULARIS SINICAE (1991): Flora Reipublicae Popularis Sinicae 13 (1) Palmae. Science Press, Beijing.
- DIRR, M.A. & O.M. LINDSTROM (1990): Leaf and stem cold hardiness of 17 broadleaf evergreen taxa. J. Environ. Horticult. 8: 71-73.
- DUKES, J. & H.A. MOONEY (1999): Does global change increase the success of biological invaders? Trends in Ecology and Evolution 14: 135-139.
- EEA (2004): EUA Signale 2004. Aktuelle Informationen der Europäischen Umweltagentur zu ausgewählten Themen. Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften, Luxemburg.
- ENQUIST, F. (1924): Sambandet mellan klimat och växtgränser. Geol. Fören. Förhandl. 46: 202-213.
- GIANONI, G., CARRARO, G. & F. KLÖTZLI (1988): Thermophile, an laurophyllen Pflanzenarten reiche Waldgesellschaften im hyperinsubrischen Seengebiet des Tessins. Ber. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich 54: 164-180.
- GRABHERR, G., GOTTFRIED, M. & H. PAULI (1994): Climate effects on mountain plants. Nature 369: 448.
- GRABHERR, G., GOTTFRIED, M. & H. PAULI (2001): Long-term monitoring of mountain peaks in the Alps. In: BURGA, C.A. & A. KRATOCHWIL (eds.): Biomonitoring: General and applied aspects on regional and global scales. Tasks for Vegetation Science 35, Kluwer Academic, Dordrecht, pp. 153-177.
- HEGI, G. (1932): Fremdlinge der Schweizer Flora. – Schweizer Blätter für Naturschutz 7: 37-59. Zit. in BODMER, H.-C., PAUL, L. & O. HOLDENRIEDER (1999): Shaping the Mountain of Truth: An introduction to the Monte Verità. In: KLÖTZLI, F. & G.-R. WAL-

- THER (Hrsg.): Conference on recent shifts in vegetation boundaries of deciduous forests, especially due to general global warming. S. 1-13. Birkhäuser, Basel.
- HOFER, H. R. (1992): Veränderungen in der Vegetation von 14 Gipfeln des Berninagebietes zwischen 1905 und 1985. Ber. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel, Zürich 58 39-54.
- HOLMBOE, J. (1913): Kristtornen i Norge. Bergens Museums Aarbok 7: 1-91.
- HÜBL, E. (1988): Lorbeerwälder und Hartlaubwälder (Ostasien, Mediterraneis und Makronesien). Düsseldorfer Geobot. Kolloq. 5: 3-26.
- IPCC (2007): Climate Change 2007: The Physical Science Basis. IPCC, Genf. URL: <http://www.ipcc.ch>, 15.06.07.
- IVERSEN, J. (1944): *Viscum*, *Hedera* and *Ilex* as climatic indicators. Geol. Fören. Förhandl. 66: 463-483.
- JACOBI, K. (1998): Palmen für Haus und Garten. 4. Aufl. BLV, München.
- KLANDERUD, K. & H.J.B. BIRKS (2003): Recent increases in species richness and shifts in altitudinal distributions of Norwegian mountain plants. The Holocene 13(1): 1-6.
- KNY, L. (1882): Die Gärten des Lago Maggiore. Parey, Berlin.
- KÖRNER, C. (1999): Alpine Plant Life. Functional plant ecology of high mountain ecosystems. Springer, Berlin.
- KOWARIK, I. (2003): Biologische Invasionen: Neophyten und Neozoen in Mitteleuropa. Ulmer, Stuttgart.
- LARCHER, W. (2003): Physiological plant ecology. 4. Aufl. Springer, Berlin.
- LÖSENER, T. (1919): Über die Aquifoliaceen, besonders über *Ilex*. Mitt. Dtsch. Dendrol. Ges. 28: 1-66.
- LÖTSCHERT, W. (1995): Palmen: Botanik, Kultur, Nutzung. 2. Aufl. Ulmer, Stuttgart.
- MAI, D. H. (1995): Tertiäre Vegetationsgeschichte Europas. Fischer, Jena.
- MEDUNA, E., SCHNELLER, J. J. & R. HOLDEREGGER (1999): *Prunus laurocerasus* L., eine sich ausbreitende nichteinheimische Gehölzart: Untersuchungen zu Ausbreitung und Vorkommen in der Nordostschweiz. Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz 8: 147-155.
- MENZEL, A., SPARKS, T.H., ESTRELLA, N., KOCH, E., AASA, A., AHAS, R., ALM-KÜBLER, K., BISSOLLI, P., BRASLAVSKA, O., BRIEDE, A., CHMIELEWSKI, F.M., CREPINSEK, Z., CURNEL, Y., DAHL, Å., DEFILA, C., DONNELLY, A., FILELLA, Y., JATCZAK, K., MÅGE, F., MESTRE, A., NORDLI, Ø., PEÑUELAS, J., PIRINEN, P., REMIŠOVÁ, V., SCHEIFINGER, H., STRIZ, M., SUSNIK, A., VAN VLIET, A.J.H., WIEGOLASKI, F.-E., ZACH, S. & A. ZUST (2006): European phenological response to climate change matches the warming pattern. Glob. Chang. Biol. 12: 1969-1976.

- MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE (2003-2006): Inventaire national du Patrimoine naturel. URL: <http://inpn.mnhn.fr>, Version 02.04.07.
- PARMESAN, C. & G. YOHE (2003): A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421: 37-42.
- PAULI, H., GOTTFRIED, M., REITER, K., KLETTNER, C. & G. GRABHERR (2006): Signals of range expansions and contractions of vascular plants in the high Alps: observations (1994–2004) at the GLORIA master site Schrankogel, Tyrol, Austria. *Glob. Chang. Biol.* 12: 1-10.
- PERRING, F. H. & S. M. WALTERS (1962): Atlas of the British Flora. 2. Aufl. Thomas Nelson and Sons, London.
- PETERKEN, G.F. (2001): Ecological effects of introduced tree species in Britain. *For. Ecol. Manage.* 141: 31-42.
- PRENTICE, I.C., CRAMER, W., HARRISON, S.P., LEEMANS, R., MONSERUD, R.A. & A.M. SOLOMON (1992): A global biome model based on plant physiology and dominance, soil properties and climate. *J. Biogeogr.* 19: 117-134.
- REBETEZ, M. & M. REINHARD (2008): Monthly air temperature trends in Switzerland 1901-2000 und 1975-2004. *Theoretical and Applied Climatology* 91: 27-34.
- REHSE, A.-K. (2007): *Ilex aquifolium* – Verbreitung und deren Grenzen im östlichen Deutschland. Diplomarbeit, Institut für Geobotanik, Universität Hannover.
- REISIGL, H. (1996): Insubrien und das Gardaseegebiet – Vegetation, Florengeschichte, Endemismus. *Ann. Mus. civ. Rovereto* 11 (Suppl. II): 9-25.
- ROOT, T.L., PRICE, J.T., HALL, K.R., SCHNEIDER, S.H., ROSENZWEIG, C. & J.A. POUNDS (2003): Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421: 57-60.
- RÜBEL, E. (1912): Pflanzengeographische Monographie des Berninagebietes. Engelmann, Leipzig.
- SAKAI, A. (1982): Freezing Resistance of Ornamental Trees and Shrubs. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 107: 572-581.
- SALVESEN, P.H. (1996): *Ilex aquifolium* L. in Norway. *Holly Society Journal* 14: 10-18.
- SCHMID, E. (1956): Flora des Südens. 2. Aufl. Rascher, Zürich.
- SCHRÖTER, C. (1936): Flora des Südens. Rascher, Zürich.
- SCHWARB, M., DALY, C., FREI, C. & C. SCHÄR (2000): Mittlere jährliche Niederschlags-höhen im europäischen Alpenraum 1971-1990. *Hydrologischer Atlas der Schweiz*, Bern.
- SITTE, P., WEILER, E.W., KADEREIT, J.W., BRESINSKY, A. & C. KÖRNER (2002): *Strasburger Lehrbuch der Botanik*. Spektrum, Heidelberg.

- SÖHLKE, G. (2006): Aktuelle und potenzielle Verbreitung der Lorbeer-Kirsche *Prunus laurocerasus* L. in Deutschland und angrenzenden Gebieten. Diplomarbeit, Institut für Geobotanik, Universität Hannover.
- SYKES, M.T., PRENTICE, I.C. & W. CRAMER (1996): A bioclimatic model for the potential distributions of north European tree species under present and future climates. *J. Biogeogr.* 23: 203-223.
- THOMAS, C. D., CAMERON, A., GREEN, R.E., BAKKENES, M., BEAUMONT, L.J., COLLINGHAM, Y., C., ERASMUS, B.F.N., DE SIQUEIRA, M.F., GRAINGER, A., HANNAH, L., HUGHES, L., HUNTLEY, B., VAN JAARSVELD, A.S., MIDGLEY, G.F., MILES, L., ORTEGA-HUERTA, M.A., PETERSON, A.T., PHILLIPS, O.L. & S.E. WILLIAMS (2004): Extinction risk from climate change. *Nature* 427: 145-148.
- THUILLER, W., LAVOREL, S., ARAÚJO, M.B., SYKES, M.T. & I.C. PRENTICE (2005): Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA* 102: 8245-8250.
- VOIGT, A. (1920): Beiträge zur Floristik des Tessins. *Berichte der Schweizerischen botanischen Gesellschaft* 26/29: 332-357. Zürich.
- WALTHER, G.-R. (2000): Climatic forcing on the dispersal of exotic species. *Phytocoenologia* 30: 409-430.
- WALTHER, G.-R. (2001): Laurophyllisation - a sign of a changing climate? In: BURGA, C. A. & A. KRATOCHWIL (Hrsg.): *Biomonitoring: General and Applied Aspects on Regional and Global Scales*, S. 207-223. (Tasks for vegetation science 35.) Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- WALTHER, G.-R. (2002): Weakening of climatic constraints with global warming and its consequences for evergreen broad-leaved species. *Folia Geobot.* 37: 129-139.
- WALTHER, G.-R. (2004): Plants in a warmer world. *Perspect. Plant Ecol. Evol. Syst.* 6: 169-185.
- WALTHER, G.-R., BEISSNER, S. & C.A. BURGA (2005b): Trends in upward shift of alpine plants. *J. Veg. Sci.* 16: 541-548.
- WALTHER, G.-R., BERGER, S. & M. T. SYKES (2005): An ecological 'footprint' of climate change. *Proc. R. Soc. B* 272: 1427-1432. London.
- WALTHER, G.-R., BURGA, C.A. & P. J. EDWARDS (Hrsg.) (2001): "Fingerprints" of Climate Change – Adapted behaviour and shifting species ranges. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
- WALTHER, G.-R., GRITTI, E., BERGER, S., HICKLER, T., TANG, Z. & M. T. SYKES (2007): Palms tracking climate change. *Global Ecology and Biogeography* 16: 801-809.
- WALTHER, G.-R., POST, E., CONVEY, P., MENZEL, A., PARMESAN, C., BEEBEE, T.J.C., FROMENTIN, J.-M., HOEGH-GULDBERG, O. & F. BAIRLEIN (2002): Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416: 389-395.

WOHLGEMUTH, T., BOSCHI, K. & P. LONGATTI (2007): Swiss Webflora. WSL, URL: <http://www.wsl.ch/land/products/webflora/welcome-de.ehtml>, gelesen am 30.04.07.

WOODWARD, F.I., LOMAS, M.R. & C.K. KELLY (2004): Global climate and the distribution of plant biomes. *Philos. Trans. R. Soc. B* 359: 1465-1476.

WU, Z.-Y. & T.-Y. DING (1999): Seed plants of China. Yunnan Science and Technology Press, Kuming.

Danksagung

Die vorgestellten Projekte wurden von der DFG (WA 1523/6-1 und WA 1523/5-1), sowie der EU im Rahmen des 6. Rahmenprogramms mit dem integrierten Projekt „ALARM“ (GOCE-CT-2003-506675) und dem BfN (FKZ 80581001) unterstützt.